

근육긴장도와 이에 영향을 미치는 체성감각계에 관한 고찰

영남대의료원 물리치료실
김 중 휘 · 권 용 현 · 박 정 미
대구대학교 물리치료학과
김 중 선

Muscle Tone and Somatosensory System acting on This

Kim, Joong-Hwi, P.T., M.S. · Kwon, Yong-Hyun, P.T. · Park, Jung-Mi, P.T.

Department of Physical Therapy, Yeungnam University Medical Center

Kim, Chung-Sun, P.T., Ph.D.

Department of Physical Therapy, College of Rehabilitation Science, Deagu University

Abstract

Muscle tone is the force with which a muscle resists being lengthened. Muscle tone is often tested clinically by passively extending and flexing a relaxed patient's limbs and feeling the resistance offered by the muscle. Both nonneural and neural mechanism contribute to muscle tone. Muscle tone is the mechanisms that contribute to the generation of tone in individual muscles when a person is in a relaxed state. This background level of activity changes in a certain antigravity posture muscle when we stand upright, thus counteracting the force of gravity. This increased level of activity in antigravity muscles is known as postural tone. The evidence from experiments showing that lesions of the dorsal(sensory) roots of the spinal cord reduced muscle(postural) tone is influenced by inputs from the somatosensory system. Patients with neurological damage have several state of muscle(postural) tone, which display from flaccidity to rigidity.

This review article deal with muscle tone and somatosensory system acting on this. The understanding about this contribute to a better therapeutic approach for the rehabilitation of patients to have an abnormal muscle(postural) tone due to neurological damage.

I. 서론

신경학적 손상을 입은 환자들은 다양한 신경학적인 문제들을 동반한다. 그 중 대부분의 환자들에서 근육긴장도 또는 자세긴장도의 이상이 나타나게 되며, 비정상적으로 근육긴장도가 낮거나 높아 운동조절에 상당한 어려움을 갖게 된다. 정상적인 근육(자세)긴장도는 중력에 대항하여 기립자세를 유지할 수 있고, 기저면의 다양한 변화에 적응하며, 기능적인 동작을 하기 위한 선택적인 움직임의 가능케 한다(Burstein 1967). 이러한 근육(자세)긴장도는 다양한 신경학적 조절에 의해 생성되고 여러 내부적, 외부적인 자극들과 환경적인 요인들에 의해 변화하고 조절된다(Brooks, 1986). 본 연구는 인간의 움직임에 중요한 기반을 담당하는 근육긴장도와 자세긴장도에 관해 이해하고 이에 영향을 미치는 체성감각계에 관해 고찰함으로써 물리치료의 임상환경에서 자주 접하게 되는 신경학적 손상 환자들에 대한 보다 깊은 이해와 효과적인 치료적 접근법을 위한 지식적 정보를 제시하기 위함이다.

II. 본론

1. 근육긴장도

근육긴장도(muscle tone)는 수동적인 신장에 대한 근육의 저항으로 정의된다(Davidoff, 1992). 임상적으로 근육긴장도는 피검사자를 눕히거나 이완시킨 상태에서 검사자의 손으로 환자의 관절을 수동적으로 구부리거나 펼 때 근육에서 느껴지는 저항의 정도로서 평가된다. 이를 평가하기 위한 척도로 Modified Ashworth Scale(MAS)이 주로 이용된다(표 1).

근육긴장도는 정상적인 사람이 이완을 하고 있는 상태에서도 일정한 수준으로 존재한다. 이렇게 근육이 갖는 고유한 긴장의 정도를 근육긴장도라고 하며 이를 근육이 갖는 경화

Grade	Contents
0	No increase in muscle tone.
1	Slight increase in muscle tone, manifested by a slight catch and release or by minimal resistance at the end of range of motion when the affected part is moved in flexion or extension.
1+	Slight increase in muscle tone, manifested by a catch, followed by minimal resistance throughout the remainder(less than half) of the ROM.
2	More marked increase in muscle tone through most of the ROM, but the affected part easily moved.
3	Considerable increase in muscle tone, passive movement difficult.
4	Affected part rigid in flexion or extension.

표 1 Modified Ashworth Scale (stiffness)로서 표현하기도 한다(Basmajian과 De Luca, 1985). 근육긴장도 또는 경화의 정도는 두 가지 요인에 의해서 결정된다. 첫째는, 내인성 근육의 긴장도로서 근섬유 자체가 가지고 있는 고유한 경화이다. 이러한 경화는 비신경성 기전(non-neural mechanism)으로서 근육에 포함된 결합조직이 갖고 있는 길이-장력 특성(length-tension properties)을 갖는 탄성적 특성(elastic property)과 근육의 비활동성 액틴-마이오신의 교차결합(cross bridges in inactive actin-myosin)으로 인해 생기는 틱소트로피(thixotropy)라고 하는 특수한 근육의 결합적 특성에 의한 점성적 특성(viscous properties)으로 나타난다. 틱소트로피는 특정한 비핵성 유체가 가지는 고유한 특성으로 흔들어준다든지 저어준다든지 하는 외부 힘을 가해주면

유동성이 좋아지고 운동이 멈추면 유동성이 낮아져 고형화되는 성질을 말한다(Carey와 Burghart, 1993). 비신경학적 기전에 의한 근육의 조직학적 특성으로 인해 생긴 긴장도를 포괄적으로 근육의 점탄적 특성(viscoelastic properties)이라고도 한다. 둘째는, 신장반사(stretch reflex)의 활동과 관련된 신경성 기전(neural mechanism)으로서 활동성 근육이 갖는 활동성 액틴-마이오신의 교차결합(cross bridges in active actin-myosin)에 의한 긴장도라고 할 수 있다. 활동성 근육긴장도는 근육의 길이변화에 대한 신장반사에 의해 발생하는 경화이며 이는 근육의 길이가 변화될 때 근육방추(muscle spindle)의 활성화에 의한 반사 활동으로 나타난다.

1) 근육의 내인성 요인에 의한 긴장도

근육에 포함된 결합조직은 수축성 근육 조직을 싸고 있는 막으로서 근육바깥(epimysium), 근다발막(perimysium), 그리고 근섬유막(endomysium) 등이 있다. 이러한 결합조직은 스프링 또는 고무줄과 같은 특성을 갖고 있으며 이를 탄성(elasticity)이라고도 한다. 이는 조직이 안정시의 길이보다 길어지게 될 때 장력(tension)이 발생하게 되는데 이러한 장력을 비수축성 요소에 의한 수동장력(passive tension)이라고 한다. 결합 조직의 종류에 따라 각기 다른 수동장력의 특성을 나타내는데 이로 인해 각 근육에 따라 경화된 정도의 차이가 발생한다. 근육에 포함된 결합조직은 신연(elongation)되는 길이에 따라 각기 다른 장력의 정도를 갖게 되는데 이를 수동적 길이-장력 곡선(passive length-tension curve)으로 나타낼 수 있다. 근육은 또한 비활동성 액틴-마이오신의 교차결합 또는 기계적 연결(mechanical bond)에 의한 점성(viscosity)을 갖게 되는데 이러한 특성을 틱소트로피라고 한다. 근육은 가소적 특성(plastic properties)을 나타내는데 이는 안정시에는 고도의 점성을 갖고 있다가 흔들어주게 될 경우에 유체화(liquid)되는 특성을 갖는 틱소트로피성 물질(thixotropic materials)과 유사한 특성이 있기 때문이다. 이러한 현상은 방추바깥근섬유(extrafusal muscle fibers)뿐 아니라 방추속근섬유(intrafusal muscle fibers)에서도 존재하여 신장반사에도 영향을 미친다. 근육의 틱소트로피는 최근의 움직임을 반영한다. 즉, 이전의 활동이 고정(immobility)과 정지(stillness)였다면 경화의 증가를 반영하고, 움직임(movement)과 강축성 등척성 자극(tetanic isometric stimulation)이었다면 경화의 감소를 반영하게 될 것이다(Carey와 Burghart, 1993).

2) 신장반사의 활동에 의한 활동성 근육의 수축에 의한 긴장도

근섬유의 수축기전에 의한 액틴과 마이오신의 상호활동은 능동장력(active tension)을 발생시킨다. 활동 근육의 힘은 활동하는 액틴-마이오신 결합부위의 수에 비례한다. 이러한 액틴-마이오신의 결합은 근육의 길이에 따라 다양하게 나타나며 근육에 따라 발생하는 장력(힘)에도 차이가 난다. 근육긴장도에 있어서 신경성 기전은 신장반사의 활동과 관련되어 있다. 이러한 신장반사는 근육의 길이증가에 대해서 저항을 하게 된다. 근육방추는 근육의 길이 변화를 감지한다. 길이변화에 대한 구심성 정보는 척수의 앞쪽뿔세포(anterior horn cell)에 있는 운동신경원(motor neuron)으로 전달되며, 이러한 운동신경원은 원하는 정도로 근육의 길이 변화에 대해 대처할 힘을 얻기 위해 흥분성을 변화시킨다. '신장반사고리(stretch reflex loop)'는 이미 설정된 값(set value)으로 근육의 길이를 유지하기 위해 계속적으로 활동한다.

3) 신장반사고리

근육이 신장(stretch)될 때 Ia군 구심섬유(Ia group afferent fiber)를 포함하고 있는 근육방

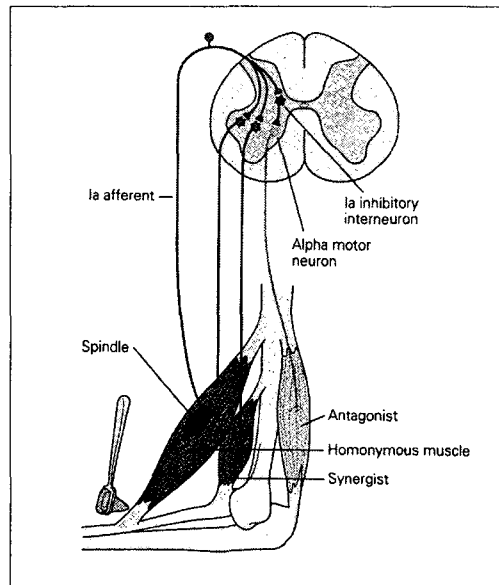


그림 1 신장반사의 활성화에 의한 교차지배 (reciprocal innervation)

추도 신장된다. Ia군 구심섬유는 운동신경원과 흥분성 단일연접으로 연결되어 주동근 (agonist)과 협력근(synergist)을 흥분시킨다. 그리고 Ia 억제성 사이신경원(Ia inhibitory interneuron)을 흥분시켜 길항근(antagonist)의 α -운동신경원을 억제시킴으로 길항근은 억제된다. 예를 들어, 상완이두근(biceps brachii)이 신장되면 상완이두근에 있는 근육방추의 Ia 군 구심섬유도 흥분하게 되고 이는 상완이두근의 α -운동신경원을 흥분시켜 수축이 일어나게 한다. 또한 상완이두근의 길항근인 상완삼두근(triceps brachii)의 α -운동신경원을 억제시키는 Ia 억제성 사이신경원을 흥분시켜 주동근이 수축하는 동안 길항근은 이완된다. 이와 같이 주동근과 협력근을 흥분시키고 길항근을 억제시키는 기전을 교차지배(reciprocal innervation)이라고 한다(Patton 등, 1989; Gordon과 Ghez, 1991)(그림 1). 이러한 방식으로 근육방추는 근육의 절대길이와 길이 변화율에 관한 정보(속도)를 신경계에 전달한다. 정적인 동작 상황에서뿐만 아니라 스포츠활동과 같은 동적인 상황에서도 신장반사가 역할을 한다. 예를 들어, 축구, 농구, 배구 등 거친 운동을 하는 거의 모든 운동선수들은 운동에 임하기 전에 반드시 넙다리뒤근육(hamstring)을 신장하는 운동을 한다. 이러한 준비운동이 없이 운동에 임하게 된다면 운동시에 요구되는 달리기와 점프 같은 빠르게 다리를 펴는 동작에서 매우 심한 통증을 느끼게 되던지 불행한 경우 넙다리뒤근육이 늘어나는 부상을 당하게 할지 모른다. 이렇듯 갑자기 늘어나는 신장에 대해 몸을 보호하기 위한 기전으로 신장되는 근육에서는 신장반사가 일어나게 되어 근육이 바로 수축하게 되는데 이러한 신장반사에 의한 주동근의 수축은 근육방추에 의해 이루어진다고 할 수 있다.

근육방추의 원심성신경섬유인 ν -원심섬유(ν -efferent fiber)의 활동 목적은 무엇이며 이러한 ν -원심섬유의 활동은 언제 일어나는 것일까? 수의적인 수축을 할 때는 항상 α -운동신경원과 ν -운동신경원의 상호활동(co-activation)이 일어난다고 할 수 있다. 이러한 α -운동신경원과 ν -운동신경원의 상호활동이 없이는 근육방추는 근육이 수축을 하는 동안, 즉 근섬유의 길이가 단축되는 동안에는 반응이 일어나지 않을 것이다. 일반적으로 근육의 수축은 α -운동신경원 흥분에 의한 방추바깥근섬유의 수축 뿐 아니라 ν -운동신경원의 흥분에 의한 방추속근섬유인 핵주머니근섬유(nuclear bag fiber)와 핵사슬근섬유(nuclear chain fiber)가 동시에 수축을 하게 되고 이로 인해 근육이 수축하는 동안에도 근육방추의 활동이 계속적으로 일어

나게 될 것이다. 이러한 상호활동 때문에, 수축하는 동안 기대하지 않은 신장이 있다면 Ia군 구심섬유와 II군 구심섬유는 그것을 감지하게 되고 이에 대한 정보를 바탕으로 적절한 대처를 할 수 있을 것이다(그림 2). 근육방추에 관한 자세한 내용은 뒤의 내용에서 다루게 될 것이다.

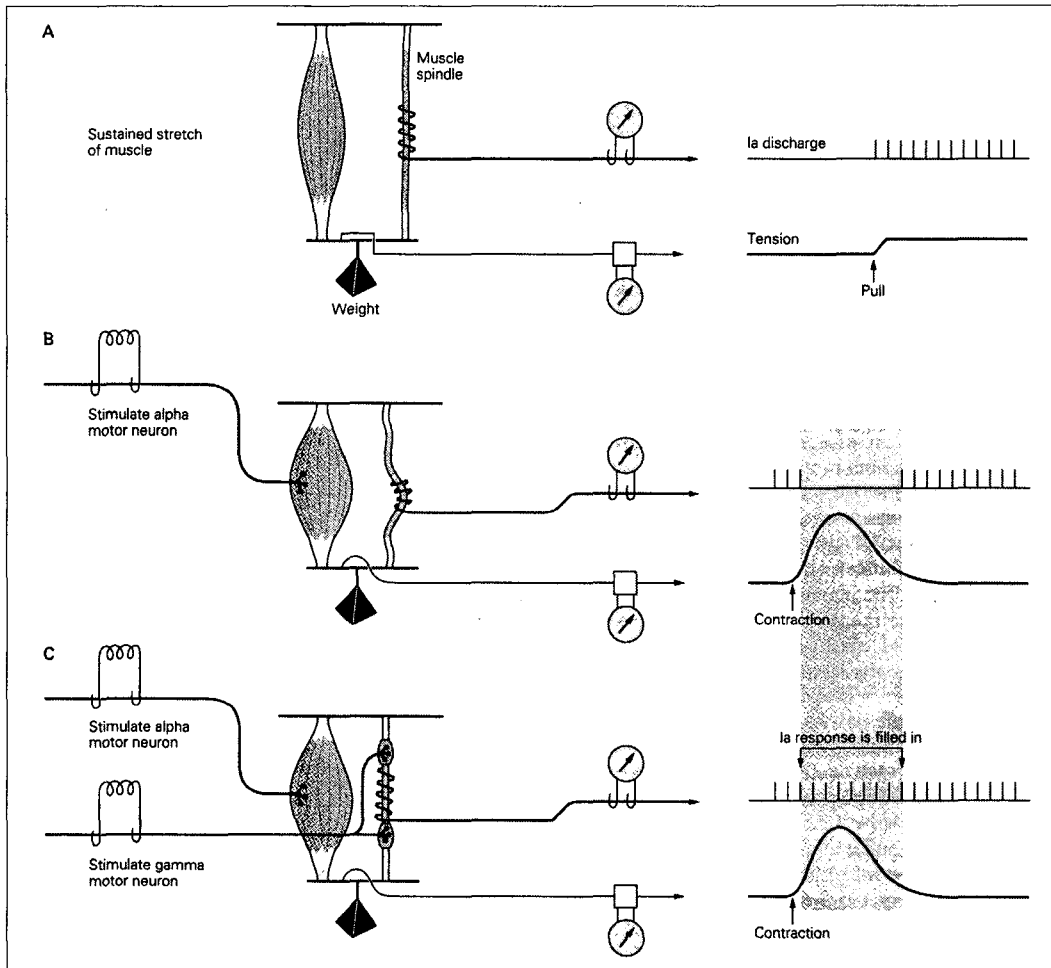


그림 2 근육의 신장과 수축에 따른 근육방추의 활성

2. 자세긴장도

근육긴장도와 자세긴장도를 따로 구분하기는 어려움이 있지만 사람이 이완한 상태에서 개별적인 근육에서 생성되는 긴장을 근육긴장도라고 한다면, 자세를 유지하거나 움직임을 하는 동안 인체의 근육군들(muscle groups)이 중력과 대항하거나 움직임에 의존하여 활동이 증가되었을 때 증가된 근육의 활동 수준을 자세긴장도(postural tone)라고 할 수 있다. Bernstein(1967)은 자세를 유지하거나 동작을 수행하기 위한 골격근의 준비된 상태를 자세긴장도라고 했다. 이러한 자세긴장도에 영향을 미치는 요인은 다양하다. 임상적으로 척수 후근(dorsal root)의 손상은 자세긴장을 감소시키게 되는데 이러한 사실은 자세긴장도가 체성감각계(somatosensory system)의 영향을 받고 있음을 뜻한다. 또한 발바닥에 제공되는 피부감각(cutaneous sensation)의 유입이 기저면을 향해 발을 자동적으로 뻗치게 하는 놓기반응(placing reaction)을 일으키고 이로 인해 신전근의 자세긴장이 증가되는 원인이 된다는

것을 오래 전부터 알려져 온 사실이다. 또한 머리의 위치변화에 의해 활동하는 목의 체성감각의 유입은 체간과 사지의 자세긴장의 분포에 영향을 준다. 이를 긴장성 경반사(tonic neck reflex)라고도 한다. 또한 시각과 전정감각계로부터 감각의 유입은 자세긴장도에 영향을 미친다. 머리의 위치변화에 의해 활동하는 전정감각의 유입은 목과 체지의 자세긴장도의 분포를 변화시키게 되는데 이를 전정안구반사(vestibulocollic reflex) 또는 전정척수반사(vestibulospinal reflex)라고 한다(Massion and Woollacott, 1996). 임상적인 문헌에서 이러한 반사가 자세조절에 있어서 매우 중요하게 다루어지고 있다. 그러나 정상인에 있어서 자세조절에 영향을 미치는 요인은 매우 많다는 것을 기억해야 한다. Anderson과 Binder(1989)는 신경학적 손상으로 반사를 조정하는 고위중추의 역할에 제한이 발생한 환자들은 자세조절을 하는데 있어서 반사통로(reflex pathway)에 더욱 많은 명령이 요구된다.

사람이 앉아 있는 자세를 취하기 위해 어느 정도의 자세긴장도가 요구된다. 또한 일상생활을 하는데 있어서 요구되는 여러 자세와 움직임들에서는 상당히 높은 자세긴장도가 요구되기도 한다. 여러 문헌들에서 중력에 대항해 자세를 유지하는 주된 기전으로서 자세긴장도의 개념을 강조한다. 특히 많은 임상가들은 체간의 자세긴장도가 일상생활에서 일어나는 서기 자세, 보행활동 등에 있어서 정상적인 자세안정성의 조절을 위한 핵심요소라고 했다(schenkman과 Butler, 1989; Davis, 1985).

3. 비정상적인 근육(자세)긴장도

중추신경계의 손상을 가진 환자에게 나타나는 비정상적인 근육(자세)긴장도의 범위는 매우 광범위하다. 이러한 근육긴장도의 범위를 긴장도 스펙트럼으로 나타낼 수 있다(그림 3). 비정상적인 근육긴장도는 크게 저긴장(hypotonia)과 과긴장(hypertonia)으로 나눌 수 있다. 저긴장은 가시 이완성(근육긴장도의 완전한 소실; flaccidity)과 저긴장성(hypotonicity)으로 구분되며 긴장도 스펙트럼의 한 쪽 끝을 차지한다. 저긴장은 길이변화에 대한 근육의 감소된 저항으로 정의되며 경계의 어떤 부분 특히, 척수소뇌의 병변(spino cerebellar lesions)시에 나타나거나 다운증후군(Down syndrome)과 같은 발달지연을 보이는 아동에게서 흔히 나타난다.

과긴장은 주로 경직(spasticity)과 강직(rigidity)의 두 가지 형태가 있다. 경직은 신장반사의 과흥분성으로 과장된 힘줄반사(tendon jerks)를 갖는 근육긴장도의 속도-의존성 증가이며 상위운동신경원증후군의(upper motor neuron syndrome) 한 요소이다(Lance, 1980). 이는 내림운동계(descending motor system)의 손상에 의해서 주로 발생하게 되는데 피질척수로(corticospinal tract)와 피질망상척수로(corticoreticulospinal tract) 등의 손상은 α -운동신경

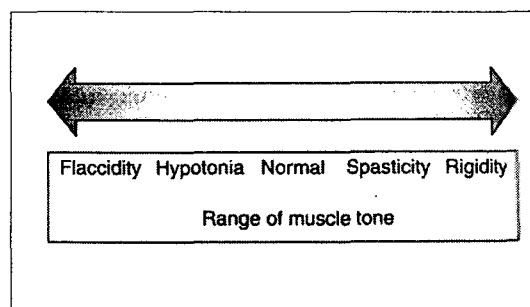


그림 3 근긴장도 스펙트럼

원의 흥분성을 증가시키게 되며 이로 인해 근육긴장도가 증가하게 된다. 이러한 근육긴장도의 증가는 긴장성 신장반사의 증가와 과장된 힘줄반사를 나타내게 된다(Mayer, 1997). 경직은 비정상적인 행동의 다양한 범위를 포함하는 임상적인 용어이기 때문에 경직을 정확하게 이해하기란 어렵다. 경직이라는 용어는 신장반사의 증가, 사지의 비정상적인 위치, 길항근의 과도한 상호활동, 연합반응, 간대성경련, 정형화된 시너지 움직임 등으로 설명된다(Horak, 1991). 결국 경직이라는 용어는 중추신경계의 질환을 가진 환자에게서 주로 나타나는 여러 비정상적인 행동(behaviors)을 표현하기 위해 사용된다고 할 수 있다. 경직은 수동적 신장에 대해 근육의 저항이 속도 의존성 증가를 특징으로 한다. 임상적으로 경직은 환자의 팔, 다리를 움직일 때 '접칼현상(clasp knife phenomenon)'이 나타난다. 신경계의 손상 이후 경직은 상당히 지연되어서 나타나게 되는데 이는 척수수준에서 일어나는 신경의 재배열(realignment) 때문이라고 할 수 있다. 경직이 발생하는 기전으로는 척수 후근 구심섬유의 결가지삭조직(collateral sprouting), 운동신경원 가지들기(dendrites)의 단축, 신경변성에 의한 과민성(supersensitivity) 등을 포함한다(young, 1994).

강직(rigidity)은 과긴장의 또 다른 형태로서 경직과 마찬가지로 수동적인 사지의 움직임에 대해 큰 저항을 나타내는 특징이 있다. 강직이 발생하는 기전은 잘 알려져 있지 않지만 주로 기저핵(basal ganglia)의 손상에 의해 대뇌구조(cerebral structures)가 기저핵의 억제(inhibition)로부터 해제됨으로 강직이 발생한다고 생각된다. 임상적으로 강직은 검사자가 환자의 팔, 다리를 움직일 때 근육의 신장반사에는 변화를 일으키지 않고 '톱니바퀴현상(cogwheel phenomenon)'의 강한 저항을 나타낸다.

4. 긴장도에 영향을 미치는 체성감각계

1) 근육방추

우리가 일반적으로 근육이라고 말하는 것은 대개 방추마갈근섬유(extrafusal muscle)이다. 그러나 근육 신전반사의 구심성 요소로서 근육의 길이와 속도에 관한 정보를 중추신경계에 제공하고 근육의 길이를 감지하는 수용기의 민감도를 바꾸어줌으로서 근육긴장도를 조절하는데 관여하는 수용기는 주로 근육방추(muscle spindle)이며 대부분의 근육방추는 골격근의 근복(belly) 내에 위치하고 있다(그림 4). 근육방추는 방추속근섬유(intrafusal fibers)라고 하는 특수화된 근섬유로서 결합조직 피막(capsule)에 둘러싸여 있다. 근육방추는 우리 몸의 골격근 대부분에서 발견되며, 인간에 있어서 근육방추의 밀도(근육당 근육방추의 수)가 가장

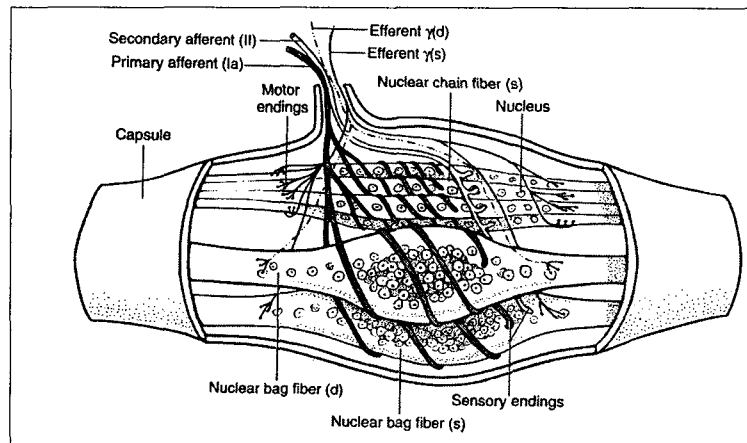


그림 4 근육방추의 구성

높은 곳은 안구근육, 손, 그리고 목에 분포하는 근육들이다. 목에 근육방추의 수가 많은 이유는 우리가 일상에서 물건을 잡기 위해 사용하는 방법은 대부분 눈과 손의 협응을 통해 이루어지는데, 이를 위해서는 눈과 머리의 협응이 필수적이기 때문에 목에도 근육방추의 수가 많다고 할 수 있다(Gordon과 Ghez, 1991). 방추속근섬유는 방추바깥근섬유에 비해 그 크기가 훨씬 작다. 방추속근섬유는 두 가지 형태로 이루어져 있는데 핵주머니근섬유와 핵사슬근섬유이다. 핵사슬근섬유에 비해 상대적으로 굵은 핵주머니근섬유는 방추바깥근섬유를 둘러싸고 있는 결합조직에 부착되어 있고 핵사슬근섬유는 핵주머니근섬유에 부착하고 있다. 각각의 섬유는 중심부위(equatorial region), 중심옆부위(juxtaequatorial region), 그리고 극부위(polar region)로 나눌 수 있다. 핵주머니근섬유는 중심 부위에 원통형 핵을 많이 갖고 있고 느린 연축(slow twitch contraction)에 관여하며, 반면에 핵사슬근섬유는 뾰족한 단일 막대기모양의 핵을 가지며 빠른 연축(fast twitch contraction)에 관여한다. 중심부위는 매우 탄력적이며 물로 가득 채워진 풍선모양 같다.

근육방추는 구심성섬유를 통해 신경계로 신호를 보내고 원심성섬유를 통해 중추신경계로부터의 통제를 받는다. 구심성 섬유를 살펴보면, 근육방추는 Ia군 구심섬유(group Ia afferent fiber)와 II군 구심섬유(group II afferent fiber)의 두 종류의 구심성 섬유를 통해 신경계로 정보를 보낸다. Ia군 구심섬유를 일차구심섬유(primary afferent), II군 구심섬유를 이차구심섬유(secondary afferent)라고도 한다. Ia군 섬유의 감각말단은 중심부위를 감싸고 있고, 반면 II군 섬유의 감각말단은 중심옆부위를 감싸고 있다. Ia군 섬유는 핵주머니근섬유와 핵사슬근섬유 모두와 연결되고 II군 섬유는 핵사슬근섬유와 만 연결된다(Patton 등, 1986; Gordon과 Ghez, 1991).

근육방추의 핵주머니근섬유와 핵사슬근섬유는 또한 원심성신경섬유인 v-운동신경원(v-motor neuron)의 지배를 받고 있다. v-운동신경원의 세포체는 방추바깥근섬유를 지배하는 a-운동신경원(a-motor neuron)과 혼합되어 척수 앞쪽뿔세포(anterior horn cell) 내에 존재한다. v-운동신경원의 말단은 핵주머니근섬유와 핵사슬근섬유의 극부위에 연결된다. v-섬유는 핵주머니근섬유를 지배하는 v-동적섬유(v-dynamic fiber)와 핵사슬근섬유를 지배하는 v-정적섬유(v-static fiber)가 있다(그림 5).

수동적인 근육 신장(passive muscle stretch)은 방추속근섬유의 중심부위 신장을 신장시키게 된다. 핵주머니근섬유의 중심부위는 탄력성이 있기 때문에 쉽게 신장되는 반면 핵사슬근섬유의 중심부위는 핵주머니근섬유에 비해 핵의 수가 적고 뾰뚱하기 때문에 빠르게 신장되지 않는다. Ia군 구심섬유의 말단(endings)은 핵주머니근섬유와 핵사슬근섬유의 중심부위를 감고있어 신장에 대한 낮은 역치를 갖게 되고 결국, 길이의 변화에 쉽게 반응한다. 이는 관절의 움직임의 범위에서 Ia군 구심섬유가 신장의 변화율(동적 반응)과 신장의 끝 범위에서의 근육의 길이(정적반응)를 감지(coding)한다는 것을 의미한다(Gordon과 Ghez, 1991).

II군 구심섬유의 말단은 핵사슬근섬유의 중심옆부위와 연결되어 있다. 이 부위는 뾰뚱한 부위이며 따라서 II군 구심섬유는 Ia군 구심섬유보다 높은 역치를 갖는다. II군 구심섬유는 근육의 길이만을 감지하며 역동적인 반응을 갖고 있지 않다. II군 구심섬유의 정적인 반응은 근육의 길이와 상호관련이 있다.

Ia군 구심섬유는 힘줄에 가하는 가벼운 두드림(lightly taps), 유연한 신장(sinusoidal stretch), 그리고 근육힘줄부위의 일정한 진동(even vibration)에 잘 반응하지만 II군 구심섬유는 이러한 자극에 반응하지 않는다. 근육방추에서 얻어진 정보는 또한 중추신경계의 다양한 수준의 상위계층으로 전달된다. 이에 대한 반응으로서 가장 낮은 수준은 근육의 반사적 활동이지만 중추신경계의 상위 계층을 통한 근육방추의 활동은 더욱 복잡하고 난해해진다. 근육방추는 척수, 소뇌, 뇌간의 그물형성체, 그리고 시상을 경유해 대뇌피질로 근육에 길이에 관한 정보를 보낸다. 근육방추의 기능은 근육이 신장된 정도와 관절 각도의 변화에 관한

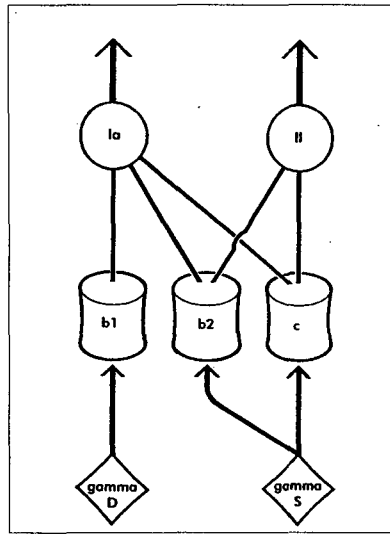


그림 5 근육방추의 원심성, 구심성 연결

정보를 알려주기 때문에 체지의 위치(고유수용감각; proprioception)를 알려주는 데 필수적인 요소이다. 또한 근육방추는 움직임을 간파할 뿐만 아니라 근육의 긴장도를 사전설정(presetting)하고 조절(regulation)하는 데에도 기여한다.

근육긴장도는 방추바깥근섬유의 내인성 경화(수동장력에 의한 스프링 같은 특성), 반사에 대한 감수성 수준, 그리고 근육을 조절하는 운동신경원 집단(motoneuron pool)의 흥분성 수준에 의해 결정된다. 앞서서도 언급했듯이 근육긴장도는 임상적으로 근육의 길이변화(신장)에 대한 근육의 저항의 정도로서 평가된다. 근육긴장도는 길이의존성(정적) 요소(length-dependent(static) components)와 속도의존성(역동적) 요소(velocity-dependent(dynamic) components)로 나눌 수 있다. 정적 긴장도의 증가는 주로 비정상적인 운동신경원의 긴장성 활동에 의해 나타나며, 역동성 긴장도의 증가는 과장된 역동적 신장반사 자체에 의해서 만들어진다. 근육긴장도라는 용어에서 긴장도라 함은 다분히 임상적인 개념으로 이해하는 것이 바람직하다. 그 이유는 근육긴장도에 대한 임상적인 평가가 생각보다 근육긴장도를 일으키는 원인을 정확하게 반영하고 있지 못하기 때문이다. 그 이유는 다음과 같다. 첫째, 긴장도의 변화는 운동신경원의 흥분성 또는 반사 민감도의 변화로 설명하고 있지만 임상에서의 근육긴장도의 평가는 근육의 기계적인 특성(mechanical properties)을 관찰하는 정도에 지나지 않는다(예, 신장에 대한 저항). 둘째, 증가된 반사활동은 증가된 운동신경원 흥분성 또는 과장된 근육방추의 활동으로 나타난다. 일반적인 근육긴장도의 임상적 평가로서는 이런 중요한 구분을 결정하지 못한다. 셋째, 근육긴장도는 병리 상태에서 변하게 된다. 신경학적 특성의 다양한 변화는 이러한 근육긴장도를 변화시킨다. 그러나 현재의 임상적 평가과정은 이러한 다양한 신경학적 상태를 반영하지 못한다. 마지막으로, 중추신경계 손상 또는 질병으로 나타나는 근육긴장도의 이상이 단순히 과장된 신장반사활동 때문이라고만 단정할 수는 없는 일이며 여러 다른 반사활동들도 근육긴장도에 관련될 수 있다, 그러나 일반적으로 임상에서는 이러한 모두를 평가하기란 어려움이 많다(Leonard, 1998). 이러한 근육긴장도에 대한 평가가 신경계의 다양한 상태를 반영하기는 어렵더라도 근육긴장도에 대한 개괄적인 평가는 환자의 전반적인 근육긴장도에 대한 상태를 기술하고 치료팀 내에서 의사전달을 하기 수단으로서 중요성이 있다고 하겠다.

근육방추의 활동과 신장반사 의식적으로(consciously) 조절할 수 있는지에 대한 기존 과학

자들의 입장은 근육방추의 민감도(sensitivity)가 의지적 조절로는 변화될 수 없다는 견해가 지배적이었다. 하지만 Wolpaw(1990)는 원숭이를 대상으로 한 실험에서 원숭이가 신장반사를 조절할 수 있음을 보고했다. 그의 연구에서 원숭이에게 음식을 이용한 보상을 통해 바이오피드백(biofeedback)을 한 결과 원숭이가 운동신경원의 흥분성을 증가시키거나 감소시킬 수 있었다고 했다. 이는 원숭이에게 제공된 정확한 보상을 통해 운동신경원의 흥분성을 증가시키거나 감소시키는 운동학습(motor learning)이 이루어 졌다는 것을 의미한다. 이러한 운동학습은 신경계를 통한 신경성 연결(neural connection), 신경막(neural membrane), 그리고 신경전달물질(neurotransmitter)의 저장(storage)과 유리(release)에 있어서 가소성(plasticity)이 있음을 나타내준다. 이러한 반사조절에 관한 운동학습이 인간에게도 일어나는 것일까? 인간은 원숭이에 비해 상당한 이점이 있다. 인간의 α, ν -운동신경원은 원숭이를 포함한 포유류보다 대뇌피질로부터의 더욱 직접적이고 강력한 지배를 받고 있다. 이러한 차이는 인간이 대뇌피질이 발달하지 않은 다른 동물의 종(species)들에 비해 근육의 수축과 자세긴장도를 조절하는 능력에 있어서 보다 진화되어 왔음을 의미한다. Wolf와 Segal(1996)은 인간이 의지적으로 신장반사를 변화시킬 수 있는 능력이 있음을 보고했다. 이들은 인간을 대상으로 근전도 바이오피드백(electromyographic biofeedback)을 이용해 신장반사의 조절을 학습시켰는데 Wolpaw(1990)가 원숭이를 대상으로 실험했을 때보다 더 짧은 시간의 학습을 통해서 신장반사가 조절된 것으로 나타났다. 이렇듯 반사활동을 조절할 수 있는 능력이 인간에게 더욱 뛰어나다는 사실은 중추신경계 손상 환자를 대상으로 하는 재활과정에 있어서 중요한 의미를 부여 할 것으로 생각된다.

대뇌피질은 근육방추와 근육의 기능에 있어서 매우 중요하다. 뇌졸중 이후, 환측의 근육들은 마비가 된다. 또한 빠른 연축을 하는 운동단위들(fast twitch motor unit)을 잃게 되고 운동단위의 동원(recruitment)도 어려워진다. 이러한 현상은 마비측을 사용하지 못함으로 인해 나타나는 현상이기도 하지만 근육 활동의 조절에 관여하는 대뇌피질을 포함한 고위중추에 의한 반사의 조절이 잘 이루어지지 못하고 있음을 반영하는 것이다. 근육방추의 활동과 근육방추의 활동을 조정하는 신경계의 능력은 근육방추를 포함한 다른 여러 말초 수용기들로부터 들어오는 구심성 피드백(afferent feedback)에 의존한다. 적절한 구심성 피드백이 없이는 근육의 힘 조절은 어려워질 것이며, 근육활동의 효율성도 떨어질 것이다. 이러한 사실을 환자와 물리치료사들에게 근육 수축에 관여하는 여러 변인들의 역할을 뛰어넘어 적절한 구심성 자극을 통한 추가적인 조절이 이루어질 수 있다는 희망을 준다. 근육방추가 움직임 위해서 우선적으로 근육긴장도를 준비하지만 이와 함께 의식적인 조절을 통해서도 추가적인 근육긴장도를 증가시킬 수 있기 때문에 우리는 상황의 요구에 맞도록 근육의 신장반사를 바꾸어갈 수 있다. 이러한 현상은 정상인에서뿐만 아니라 뇌손상으로 인해 과도한 근육긴장, 경직을 갖고 있는 환자에게도 가능한 것이다. 환자에게 제공되는 과제가 적절하고 환자가 움직임에 대한 요구에 적합한 것이라면 환자는 의지를 통해 α -운동신경원과 ν -운동신경원의 활동을 변화시킬 수 있게 될 것이다. 이로 인해 근육긴장도 또는 자세긴장도가 보다 적절하게 조절될 수 있을 것이며 움직임에 손상을 가져오는 경직의 효과를 감소시킬 수 있게 될 것이다.

근육방추는 움직임에 필요한 정보를 제공하는 단지 한 형태의 수용기에 지나지 않는다. 자세와 움직임의 조절은 근육의 길이를 감지하는 것 뿐 아니라 근육의 장력을 감지하는 것을 요구한다. 이러한 장력을 감지하는 수용기에는 골지힘줄기관(golgi tendon organs)이 주로 관여한다.

2) 골지힘줄기관

골지힘줄기관(golgi tendon organs; GTO)은 방추형 모양으로서 근육-힘줄 연결부

(muscle-tendon junction)에 놓여있으며 근육에서 발생하는 장력에 반응한다(그림 6). 이러한 장력은 근육이 신장(stretch)되거나 근육의 수축(contraction)에 의해서 발생한다. 단일 GTO는 10-20개 정도의 각기 다른 운동단위로부터 나온 근육섬유와 연결되어있다. 하나의 운동단위에서 단지 한 개의 근섬유 만 GTO와 연결되며, 따라서 단일 GTO는 10-20개의 각기 다른 운동단위로부터 근섬유를 받는다(그림 7). 이로 인해 GTOs는 개별적인 근섬유 장력을 감지하기보다는 전체 근육의 장력을 감지한다고 볼 수 있다. 중추신경계는 몸 전체에서 발생하는 근육의 힘에 관한 정보를 얻기 위해 각각의 근육에 있는 GTOs의 앙상블에 의

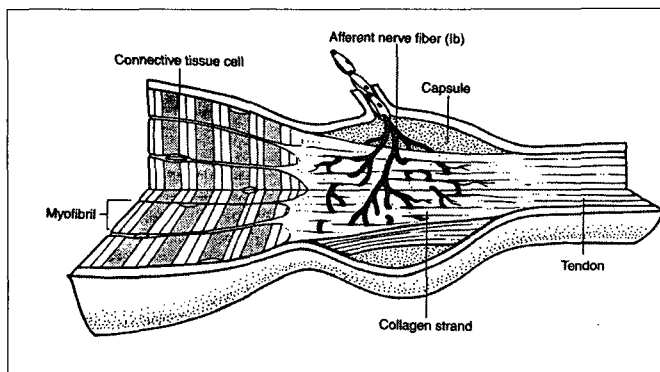


그림 6 골지힘줄기관(GTO)의 구성

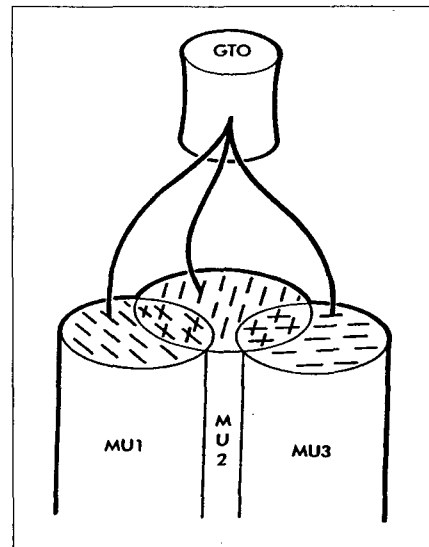


그림 7 GTO와 운동단위(MU)의 연결

해 제공되는 정보들을 의지한다고 할 수 있다.

GTOs는 근육의 신장에 의해 유도된 장력(stretch-induced tension)에는 높은 역치(threshold)를 갖지만 근육의 수축에 의해 유도된 장력에(contraction-induced tension) 대해서는 낮은 역치를 갖는다. 사실, 근육의 신장은 GTO를 항상 활성화시키지 않는 반면에, 근육 수축은 이러한 GTO를 쉽게 활성화시킨다. 심지어 GTO는 2에서 25g의 작은 정도의 힘에도 반응한다.

GTO로부터 구심성 정보는 Ib 구심섬유(Ib afferent fiber)를 경유하여 신경계로 운반된다. 근육방추와는 다르게, GTO는 원심성 연결이 없으며 중추신경계에 의한 조절을 받지 않는다. 즉, GTO에는 연결되는 원심성 신경섬유가 없다. GTO는 길항근을 흥분시키고 주동근을 억제시키는 역할을 하며 이를 비교차지배(nonreciprocal innervation) 또는 자가억제(autogenic inhibition)이라고 한다(그림 8). 이러한 반사활동은 척수의 앞쪽뿔세포에 위치하고 있는 Ib 사이신경원(Ib interneuron)에 의해 이루어지는데, Ib 사이신경원의 흥분은 주동근의 α -운동신경원을 억제시키고 길항근의 α -운동신경원을 흥분시키는 역할을 한다.

Ib 사이신경원들은 근육에서 Ia 구심섬유(근육방추)와 Ib구심섬유(골지힘줄기관) 그리고 피부와 관절에있는 수용기에서 기인하는 관절 구심섬유를 통해 구심성 감각유입을 받는다. 또한 Ib 사이신경원들은 소뇌심부핵인 꼭지핵(fastigial nucleus), 소뇌피질전엽(anterior cerebellar cortex), 그리고 다양한 뇌간영역 뿐만 아니라 척척수로(rubrospinal tract), 전정척수로(vestibulospinal tract), 그리고 대뇌피질척수로(corticospinal tract)로부터 감각유입을 받는다. 척수상위 중추로부터의 감각입력은 Ib 신경로의 활동을 조정하여 상황에 적합하도록 근육의 힘을 조절하는 역할을 한다고 할 수 있다.

GTOs는 항중력근(antigravity muscle) 즉, 하지, 등 그리고 목의 신전근들에 많이 분포하고 있다. 이러한 항중력근들은 대부분 인체의 근위부에 위치하며, 전정신경핵(vestibular nucleus)으로부터 풍부한 지배를 받고 있다. 따라서 GTOs는 중력에 관련된 근육들의 장력을 감지하고 공간에서 체간과 머리의 위치를 안내해줄 전정감각의 유입과 조화를 이루고 있다.

기존의 많은 연구자들은 GTOs가 근육에 가해지는 커다란 크기의 장력에서 만 반응하여 활동한다고 생각했으며 따라서 GTOs의 역할은 손상으로부터 근육을 보호하는 것이라고 여겨왔다. 이러한 GTOs의 역할을 설명하기 위한 예로서 '접칼반사(clasp-knife reflex)'를 들

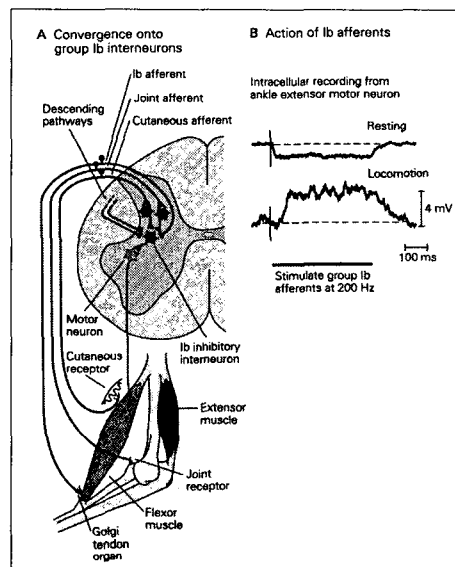


그림 8 GTO의 활성화에 의한 자가억제

어 왔다. 접칼반사는 신경계의 손상으로 경직이 있는 환자에게 수동적인 관절운동을 시킬 때 수동신장에 대해 근육의 저항이 어느 단계까지 증가되다가 어느 순간에 갑자기 근육의 장력이 소멸되는 현상을 말한다. 최근의 여러 연구에서 GTOs의 기능은 신경계 손상 환자에게 나타나는 비정상적인 근긴장에서 보이는 이러한 현상이 아니라 정상인에서 근육의 장력을 계속적으로 감지하고 심지어 근육의 수축에 의한 작은 정도의 장력의 변화들에 대해서도 감지하는 섬세하고 정교한 수용기라는 것이 밝혀졌다(Patton 등, 1989; Gordon과 Ghez, 1991).

3) 관절수용기

관절수용기(joint receptor)들을 어떻게 일하며 그들의 기능은 무엇인가? 관절 자체에는 여러 형태의 수용기가 있다. 이러한 수용기에는 루피니형태의 종말(Ruffini-type endings), 파치니종말(pacinian endings), 인대수용기(ligament receptors), 그리고 자유신경종말(free nerve ending)이 있으며 관절낭(joint capsule)의 다양한 위치에 분포한다. 육안적으로도 관절에 분포하는 수용기들은 신경계에서 발견되는 다른 많은 수용기와 같이 동일한 특성으로 나뉜다. 예를 들어, 인대수용기(ligament receptor)는 GTO와 일치하며, 반면 파치니종말(pacinian endings)은 피부에서 발견되는 파치니소체(pacinian's corpuscles)와 일치한다.

관절의 기능은 흥미로운 점들이 많다. 관절 수용기의 정보는 감각처리과정에서 여러 계층의 중추신경계의 수준에 이용된다. 어떤 연구자들은 관절수용기가 단지 관절 움직임의 극단

적인 관절각(extreme joint angles)에서 감작된다고 했다(Burgess와 Clark, 1969). 이 때문에 관절 수용기는 극단적인 관절 동작에 대해 위험을 알리는 신호를 제공한다고 여겨진다.

관절수용기로부터의 구심성 정보는 대뇌피질까지 도달되고 우리가 공간에서 관절의 위치를 인지하는데 기여한다. 중추신경계는 관절수용기가 감작되는 동시에 그 정보를 모니터해서 관절의 위치를 결정하는데, 이를 통해서 정확한 관절의 위치 결정이 이루어진다.

4) 피부수용기

피부수용기(cutaneous receptor) 역시 여러 형태가 존재한다. 이는 기계적인 자극을 감지하는 파치니소체(pacinian's corpuscles), 촉반(Merkel's disk), 마이스너소체(Meissner's corpuscle), 루피니소체(Ruffini's corpuscle), 털주머니수용기(hair follicles receptor)와 온도 변화를 감지하는 온각수용기(thermoreceptor), 그리고 피부의 위험에 대한 잠재성을 감지하는 통각수용기(nociceptor)등으로 분류할 수 있다(그림 9).

손끝 과 같은 민감한 부위는 수용기의 수가 많고 단위면적 당 수용기의 밀도가 높다(Kendal과 Jessel, 1991). 피부수용기로부터 들어오는 정보는 중추신경계의 여러 계층에서 다양한 방식의 처리과정에 사용된다. 중추신경계의 가장 낮은 계층에서 피부수용기의 정보는 반사적인 움직임을 유발한다. 또한 정보가 상위 수준으로 올라가서 현재에 직면한 환경에 대한 인식에 필수적인 신체의 위치와 관련한 정보를 제공한다.

신경계는 피부정보를 피부수용기로 유입되는 자극의 범위와 형태에 따라 다양한 방식의 반사반응을 하는데 사용한다. 발바닥의 가벼운 확산 자극(light diffuse stimulus)은 체지를 신전을 가져오는 경향이 있다. 예를 들어, 우리가 고양이의 발바닥을 가볍게 접촉한다면 이러한 현상을 쉽게 확인할 수 있을 것이다. 이러한 현상을 놓기반응(placing reaction)이라고 하며 고양이 뿐 아니라 인간의 영아(infants) 시기에서도 이러한 현상이 잘 나타난다. 반대로, 위 경우와 동일한 부위에 날카로운 국소 자극(sharp focal stimulus)은 도피(withdraw) 또는 굴곡을 만든다. 이러한 반사를 굴곡근도피반사(flexor withdrawal reflex)라고 하며 우리를 외부자극에 대한 손상으로부터 보호한다. 피부반사 반응의 전형적인 방식은 동측의 굴곡(ipsilateral flexion)과 반대측의 신전(contralateral extension)이며 이는 반대측 하지에 체중을 지지하게 한다. 이러한 현상을 교차신전근반사(crossed extensor reflex)와 관련이 있

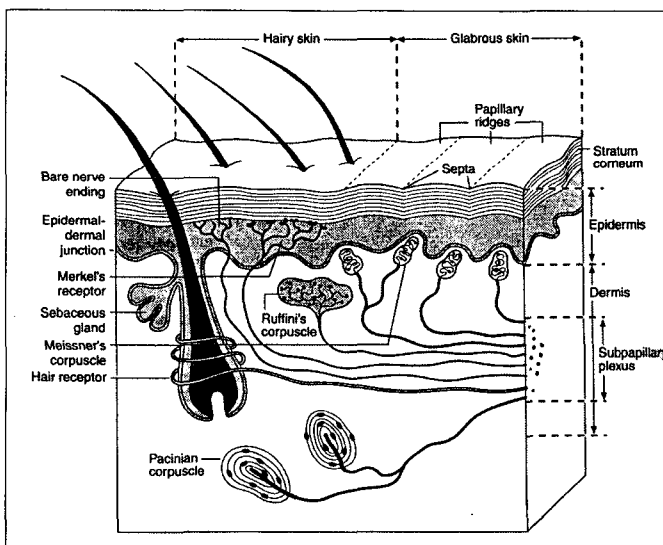


그림 9 피부수용기의 종류와 구조

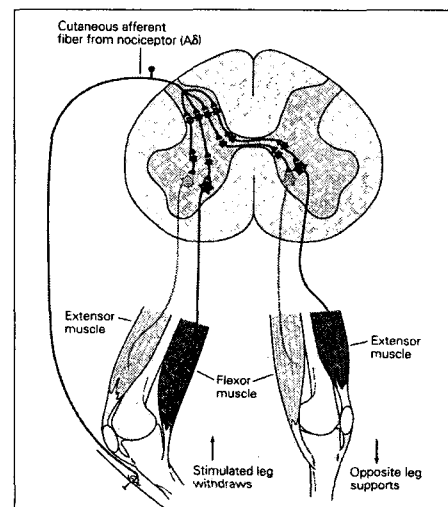


그림 10 굴곡근도피반사와 교차신전근반사

다. 이러한 반사는 III군과 IV군 구심섬유에 의해 중추신경계로 증계된다(그림 10).

반사가 정형화된 방식으로 이루어진다고 하더라도 이러한 반사활동은 과제와 정황에 따라 고위중추에 의해 조정된다. 유해성 자극에 대해 체지가 도피하는 반사의 전형적인 원인이 되기는 하지만 어머니가 자신의 손상을 고려하지 않고 위험에 처한 자신의 아이를 구하는 것과 같은 긴급 상황에서는 중추신경계는 자극에 대해 더 적절한 방식의 행동을 취하려는 의지에 의해서 반사에 의한 움직임 활동을 억제하기도 한다.

III. 결론

연구자들은 근육방추와 GTOs의 교대적 활동에 의해서 근육긴장도가 조절되는 것이라는 사실에 대부분 동의한다. 따라서 이러한 근육긴장도를 근육의 단위 길이(근육방추) 당 힘(GTOs)으로서 정의하기도 한다. 결국, 단위길이(근육방추)당 힘(GTO)의 정도가 근육긴장도라고 할 수 있다. 근육긴장도는 또한 대뇌피질을 포함한 척수상위 수준의 지배를 받게 되며, 여러 구심성 자극에 의해서 그리고 환경과 과제의 요구에 따라 적절하게 조절된다고 할 수 있다.

근육(자세)긴장도와 이에 영향을 미치는 체성감각계에 대한 지식은 신경학적 손상으로 인해 비정상적인 근육(자세)긴장도를 갖게 되어 자세와 움직임에 있어서 여러 어려움에 직면해 있는 환자들의 회복을 돕고있는 물리치료사들이 보다 전문적인 치료적 접근을 할 수 있는 유용한 자료가 될 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

- 김종만 : 물리·작업치료사를 위한 신경해부생리학, 셋째판, 도서출판정담, 2000.
김진수, 이명식 : 필수 신경생리학, 영문출판사, 2000.
황병용 : 문제해결법에 의한 신경물리치료학, 현문사, 1999.
Anderson ME , Binder MD : Spinal and supraspinal control of movement and posture. In: Patton HD, Fuchs AF, Hille B : Textbook of physiology, vol. 1: Excitable cells and neurophysiology, Philadelphia: WB Saunders, 563-581, 1989.
Basmajian , De Luca CJ : Muscles alive, their functions revealed by electromyography, 5th ed. Baltimore, Williams & Wilkins, 1985.
Bernstein N : the co-ordination and regulation of movements, Pergamon, Oxford, 1967.
Brooks V : The neural basis of motor control. Oxford University Press, Oxford, 1986.
Burgess PR, Clark FJ : Characteristics of knee joint receptor in the cat, J Physiol Lond, 203:317-325, 1969.
Carey JR , Burghart TP : Movement dysfunction following central nervous system lesions, A problem of neurologic impairment, Phys Ther, 73:538-545, 1993.
Davidoff RA : Skeletal muscle tone and the misunderstood stretch reflex, Neurology, 42:951-963, 1992.
Davis PM : Step to follow. 2nd ed. New york: Springer-Verlag, 2001.
Gordon J, Ghez C : Muscle receptors and spinal reflexes: the stretch reflex. In: Kendal E, Schwartz JH, Jessell TM : Principle of neuroscience, 3rd ed, New York: Elsevier, 564-580, 1991.
Harbarth KE : Evaluation of and methods to change muscle tone, Scan J Rehb Med,

30(sup): 19-32, 1994.

Horak F : Assumptions understanding motor control for neurologic rehabilitation, In: Contemp[orary management of motor control problems, Proceedings of the II Step Conference. Alexandria, VA: APTA, 11-27, 1991.

Kendal E, Jessell TM : Touch. In: Kendal E, Schwartz JH, Jessell TM : Principles of Neuroscience, 4rd ed, McGraw-Hill, 2000.

Lance JW : Symposium synopsis. In: Feldman RG, Young RR, Koella WP: Spasticity: Disordered Motor Control. Chicago, Year Book, 1980.

Leonrd CT : The Neuroscience of Human Movement, Mosby-Year Book, 1998.

Massion J, Woolacott M : Normal Balance and postural control, In: Bronstein AM, Brandt T, Woollacott M: Clinical aspects of balance and gait disorders, London, Edward Arnold, 1996.

Mayer NH, Esquenazi A, Childers MK : Common patterns of clinical motor dysfunction, Muscle nerve, 6: S21-S35, 1997.

Patton HD, Fuchs A, Hille B : Textbook of physiology, vol 1. 21st ed. Philadelphia: WB Saunder, 1989.

Schenkman M, Butler RB : A model for multisystem evaluation, interpretation, and treatment of individuals with neurologic dysfunction. Phys Ther, 69:538-547, 1989.

Shumway-Cook A, Woollacoot M : Motor Control; Theory and Practical Application, 2nd ed, Baltimore: Williams & Wilkins, 2001.

Wolf SL, Segal RL : Reducing Human biceps brachii spinal stretch reflex magnitude, J Neurophysiol, 75:1673-46, 1996.

Wolpaw JR, Hergengerder PA : Operant conditioning of H-reflex in freely moving monkeys, J Neurosci Methods, 31: 145-52, 1990.

Young RR : Spasticity: A review, Neurology, 44:S12-20, 1994.